

PATENT ABSTRACTS OF JAPAN

(11)Publication number : 05-260766
 (43)Date of publication of application : 08.10.1993

(51)Int.Cl. H02N 1/00

(21)Application number : 03-134397

(71)Applicant : MATSUSHITA ELECTRIC WORKS LTD
 HIGUCHI TOSHIRO

(22)Date of filing : 05.06.1991

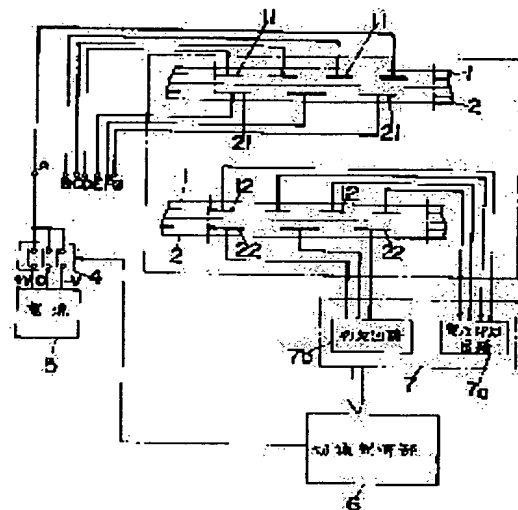
(72)Inventor : NISHIGUCHI NOBORU
 HIGUCHI TOSHIRO

(54) ELECTROSTATIC ACTUATOR

(57)Abstract:

PURPOSE: To make it possible to shift a moving electrode without any hunting and causing it to be out of synchronism by arranging a stator electrode (FE) and the moving electrode (ME) at a given interval, by detecting the amount of the displacement of the moving electrode with respect to the stator, and by applying a driving voltage across the FE and ME in response to the detected amount of the displacement.

CONSTITUTION: For a moving electrode 1, an ME 11 and a sensing electrode (SE) 12 are arranged at a given interval. For a stator 2, an FE 21 and the SE 22 are arranged at a given interval. A direct current power-supply 5 is connected to the moving electrode 1 and stator 2 through a switching element 4. A position determining unit 7 comprises a voltage application circuit 7a which applies a position detecting voltage, and a determining circuit 7b which detects the variation of a loaded amount generated by an electrostatic induction in the SE electrode 22 when the position detecting voltage is applied to the SE 12 in order to determine the correlated position of the moving electrode 1 to the stator 2. Therefore, if a feedback control is provided for a switching control unit 6 to change over driving voltages in accordance with the timing based on the detection by the position determining unit 7, it is possible to prevent any out of synchronism and hunting from being created.



LEGAL STATUS

[Date of request for examination] 14.02.1997
 [Date of sending the examiner's decision of rejection]
 [Kind of final disposal of application other than the examiner's decision of rejection or application converted registration]
 [Date of final disposal for application]
 [Patent number] 2899133
 [Date of registration] 12.03.1999
 [Number of appeal against examiner's decision of rejection]
 [Date of requesting appeal against examiner's decision of rejection]
 [Date of extinction of right]

Copyright (C); 1998,2003 Japan Patent Office

特開平5-260766

(43)公開日 平成5年(1993)10月8日

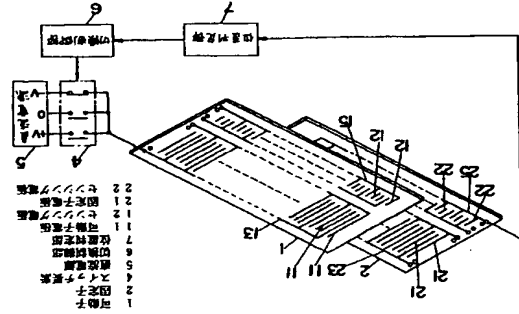
(51)Int.Cl. ¹	機別記号	庁内整理番号	P I	技術表示箇所
H 0 2 N 1/00		8525-5H		
(21)出願番号	特願平3-134367	(71)出願人	00005832	松下電工株式会社 大阪府門真市大字門真104番地
(22)出願日	平成3年(1991)6月5日	(71)出願人	00023576	樋口 俊郎 神奈川県横浜市港北区茅ヶ崎南4-14-1 -109
		(72)発明者		西口 登 大阪府門真市大字門真1049番地下電工株式会社内
		(72)発明者		樋口 俊郎 神奈川県横浜市港北区茅ヶ崎南4-14-1 -109
		(74)代理人	井理士 石田 長七 (外2名)	

(54)【発明の名称】 静電アクチュエータ

(57)【要約】

【目的】基準位置を再現性よく設定するとともに、乱調や脱調を防止する。

【構成】可動子1および固定子2は、それぞれ直線荷状の多数の可動子電極11および固定子電極21を備える。可動子電極11および固定子電極21と、駆動電圧を発生する直流電源5との間にスイッチ要素4を挿入し、切替制御部6によってスイッチ要素4の開閉状態を切り換える。このとき、可動子電極11と固定子電極21との間に生じるクーロン力により可動子1が固定子2に対して移動する。可動子1と固定子2とは、それぞれ可動子電極11および固定子電極21と相似形状であるセンシング電極12、22を設ける。センシング電極12、22の間の静電容量の変化を位置判定部7により検出することにより、可動子1の固定子2に対する相対位置を検出する。この相対位置に基づいてスイッチ要素4の切替タイミングをフィードバック制御する。



(2)

【特許請求の範囲】

【請求項1】 多数の固定子電極を一方方向に所定間隔で配列した固定子と、固定子電極に方向して配置される多数の可動子電極を上記一方方向に所定間隔で配列して構成した可動子と、固定子と可動子との間に介在させた絶縁体層と、可動子電極と固定子電極との間に生じるクーロン力により可動子が固定子に対して上記一方方向に移動するように固定子電極と可動子電極とに駆動電圧を印加する駆動電圧制御手段と、固定子に対する可動子の変位量を検出し変位量に応じて駆動電圧制御手段が固定子電極と可動子電極とに印加されるように駆動電圧制御手段をフィードバック制御する位置検出手段とを備えて成ることを特徴とする静電アクチュエータ。

【請求項2】 位置検出手段は、固定子と可動子とにそれぞれ上記一方方向に所定間隔で配列された多数のセンシング電極を互いに対向させたセンサ部を有し、固定子側と可動子側とのいずれか一方のセンシング電極に直流電圧を印加するとともに、可動子の移動時に他方のセンシング電極に静電誘導によって発生する電荷量の変化に基づいて固定子に対する可動子の変位量を検出することを特徴とする請求項1記載の静電アクチュエータ。

【請求項3】 位置検出手段は、固定子と可動子とにそれぞれ上記一方方向に所定間隔で配列された多数のセンシング電極を互いに対向させたセンサ部を有し、固定子側と可動子側とのいずれか一方のセンシング電極に高周波交流電圧を印加するとともに、他方のセンシング電極に高周波交流電圧を印加するとともに、可動子の移動時に他方のセンシング電極に静電誘導によって発生する電荷量の変化に基づいて固定子に対する可動子の変位量を検出することを特徴とする請求項1記載の静電アクチュエータ。

【請求項4】 絶縁体層は、固定子に設けた第1絶縁体層と、可動子に設けた第2絶縁体層と、第1絶縁体層と第2絶縁体層との間に介在する絶縁性液体よりなる第3絶縁体層とから成ることを特徴とする請求項1記載の静電アクチュエータ。

【請求項5】 絶縁体層は、固定子に設けた第1絶縁体層と、可動子に設けた第2絶縁体層とからなり、第1絶縁体層における固定子電極との対向部位および第2絶縁体層における可動子電極との対向部位には、それぞれ絶縁性が形成されて成ることを特徴とする請求項1記載の静電アクチュエータ。

【請求項6】 固定子および可動子はそれぞれ多数の記録板を用いてフィルム状に形成されていて固定子と可動子との対が複数個設けられ、各可動子同士が可動子ホルダによって一体に結合されて成ることを特徴とする請求項1記載の静電アクチュエータ。

【発明の詳細な説明】

【0001】

【産業上の利用分野】 本発明は、固定子と可動子との間に作用するクーロン力により可動子を移動させる静電ア

クチュエータに関するものである。

【0002】

【従来の技術】 従来より、クーロン力を用いた静電アクチュエータとしては、図21に示すように、多数の固定子電極21を一方方向に配列した固定子2と、固定子電極21の配列面に方向する誘電体層もしくは高抵抗性材料16を備えた可動子1と、各固定子電極21に誘電体層16の駆動電圧を印加する駆動回路とを設けたものがある（特開昭63-95860号公報、特開平2-285978号公報参照）。

【0003】 すなわち、固定子電極21に駆動電圧を印加することによって可動子1の誘電体層もしくは高抵抗性材料16に静電誘導された電荷と、固定子電極21の電荷との間に作用するクーロン力により可動子1が移動するものである。特開昭63-95860号公報には、駆動電圧を印加し、固定子と可動子との間に吸引力のみを作用させるように駆動電圧の印加タイミングを設定したものと、駆動電圧を印加し、固定子と可動子との間に吸引力および斥力とを作用させるように駆動電圧の極性に印加タイミングを設定したものとが開示されている。また、特開平2-285978号公報には、図21(b)に示すように、可動子1が移動を開始する際には、固定子2と可動子1との対向面に直交する方向のクーロン力が斥力になるように駆動電圧の極性を設定したものが開示されている。

【0004】

【発明が解決しようとする課題】 ところで、上記図21に記載された静電アクチュエータは、可動子1に静電誘導された電荷と、固定子電極21の電荷との間のクーロン力を利用して可動子1を移動させるものであるから、可動子1を移動させるために固定子電極21に駆動電圧を印加すると、可動子1の移動中に可動子1の誘電体層や高抵抗性材料16の中で電荷の移動が生じたり、不要な分極が生じたりする可能性がある。このような現象が生じると、乱調や脱調の原因になる。さらに、可動子1の任意の位置に電荷を生じさせることができるから、基準位置を再現性よく設定することができないという問題がある。

【0005】 本発明は上記問題点の解決を目的とするものであり、乱調や脱調を防止し、しかも、基準位置を再現性よく正確に設定できるようにした静電アクチュエータを提供しようとするものである。

【0006】

【課題を解決するための手段】 請求項1の発明は、上記目的を達成するために、多数の固定子電極を一方方向に所定間隔で配列した固定子と、固定子電極に方向して配列される多数の可動子電極を上記一方方向に所定間隔で配列して構成した可動子と、固定子と可動子との間に介在させた絶縁体層と、可動子電極と固定子電極との間に生じるクーロン力により可動子が固定子に対して上記一方

3

に移動するように固定子電極と可動子電極とに駆動電圧を印加する駆動電圧制御手段と、固定子に対する可動子の変位量を検出し変位量に応じた駆動電圧が固定子電極と可動子電極とに印加されるように駆動電圧制御手段をフィードバック制御する位置検出手段とを備えているのである。

【0007】請求項3の発明では、位置検出手段は、固定子と可動子とにそれぞれ上記一方向に所定間隔で配列された多数のセンシング電極を互いに対向させたセンシング電極に直流電圧を印加するとともに、可動子の移動時に他方のセンシング電極に静電誘導によって発生する電荷量の変化に基づいて固定子に対する可動子の変位量を検出する。

【0008】請求項3の発明では、位置検出手段は、固定子と可動子とにそれぞれ上記一方向に所定間隔で配列された多数のセンシング電極を互いに対向させたセンシング電極に高周波交流電圧を印加するとともに、他方のセンシング電極に静電誘導によって発生する電荷量の変化に基づいて固定子に対する可動子の変位量を検出する。

【0009】請求項4の発明では、絶縁体層は、固定子に設けた第1絶縁体層と、可動子に設けた第2絶縁体層と、第1絶縁体層と第2絶縁体層との間に介在する絶縁性被膜よりなる第3絶縁体層とにより形成されている。請求項5の発明では、絶縁体層は、固定子に設けた第1絶縁体層と、可動子に設けた第2絶縁体層とからなり、第1絶縁体層における固定子電極との対向部位および第2絶縁体層における可動子電極との対向部位には、それぞれ他の部位よりも誘電率の高い絶縁材料よりなる導路電率部が形成されている。

【0010】請求項6の発明では、固定子および可動子はそれぞれ多層配線板を用いてフィルム状に形成されて固定子と可動子との対が複数個設けられ、各可動子同士が可動子ホルダによって一体に結合されている。

【0011】

【作用】請求項1の構成によれば、固定子と可動子とにそれぞれ多数の固定子電極と可動子電極とを配列し、固定子電極と可動子電極とに印加する駆動電圧を制御して可動子を移動させるのであって、固定子電極および可動子電極がそれぞれ所定の間隔で配列されているので、固定子電極と可動子電極との位置関係によって固定子に対する可動子の基準位置を正確に設定できることになる。また、固定子に対する可動子の変位量を検出し変位量に応じた駆動電圧が固定子電極と可動子電極とに印加されるように駆動電圧制御手段をフィードバック制御する位置検出手段を備えているので、可動子の固定子に対する位置に応じた駆動電圧を制御することができ、乱振や脱離が生じないように可動子を移動させることができる。

である。

【0012】請求項2および請求項3の構成は、位置検出手段の望ましい実施形態であって、固定子と可動子とにそれぞれ上記一方向に所定間隔で配列された多数のセンシング電極を互いに対向させたセンサ部を位置検出手段に設けているので、位置検出手段のセンサ部を、固定子や可動子に一体に設けることができるのであって、可動子の固定子に対する変位量を正確に検出することが可能になる。

【0013】請求項4の構成によれば、固定子と可動子との間に絶縁性液体よりなる第3絶縁体層を介在させているので、固定子電極と可動子電極との間の絶縁耐圧を高めることができ、高い駆動電圧を印加することができ、結果、可動子の駆動力を高めることができる。また、第3絶縁体層を形成する絶縁性液体として粘度および表面張力の小さい材料を採用することによって、固定子と可動子との間の駆動力を低減することができ、駆動力を高めることができる。

【0014】請求項5の構成によれば、固定子に第1絶縁体層を設け、第1絶縁体層に対向する第2絶縁体層を可動子に設け、第1絶縁体層における固定子電極との対向部位および第2絶縁体層における可動子電極との対向部位に、それぞれ他の部位よりも誘電率の高い絶縁材料よりなる導路電率部を形成しているので、固定子電極と可動子との対向部位付近および可動子電極と固定子との対向部位付近に電気力線を集中させることができ、絶縁耐圧を維持したまま駆動力を高めることができるのである。

【0015】請求項6の構成によれば、複数の可動子を可動子ホルダによって一体に結合しているもので、固定子と可動子との複数組の対の駆動力の合力を出力として得ることができ、高い駆動力が得られるのである。

【0016】

【実施例】(実施例1) 本実施例では、固定子電極を3相とし可動子電極を4相としているが、これに限定されるものではなく、相数については各相の組み合わせが可能である。図2および図3に示すように、可動子1および固定子2は、それぞれ多層配線板3を用いてフィルム状に形成され、互いに対向するように配置される。多層配線板3は、絶縁基板31の表裏面にそれぞれ絶縁体層32、33を接合材層36、37を介して積層し、絶縁基板31と各絶縁体層32、33との間にそれぞれ銅箔よりなる導電体層34、35を接合したものであって、全体として200μm程度の厚みのフィルム状に形成されている。絶縁基板31、絶縁体層32、33には、ポリイミドやポリアリレンテトラフルオレートなどが用いられる。ただし、図2に示すように、絶縁基板31、絶縁体層32、33などには同一材料を用いる。

【0017】可動子1となる多層配線板3の導電体層3

5

4には、図4に示すように、直線格状に形成した多数の可動子電極11を互いに平行になるように一定間隔p1で配列した導電パターンと、直線格状の多数のセンシング電極12を互いに平行になるように可動子電極11と同じ間隔p1で配列した導電パターンとが形成される。可動子電極11は4相であり、各相をA～D相とすれば、ABCDAB……という順で循環的に配列される。

また、各相の可動子電極11は、各相ごとにまとめて給電ライン113に接続される。ここに、4相のうちの2相の給電ライン113は可動子電極11と同じ導電体層34に形成され、残りの2相の給電ライン113は他の導電体層35に形成される。導電体層35に形成された給電ライン113と可動子電極11とを接続するには、可動子電極11の長手方向の一端部に設けたランド114の中心に穿孔したスルーホールを用いてめっきスルーホール法などの周知の方法を適用する。各センシング電極12は、各可動子電極11と同一直線上に形成され、各相の可動子電極111と同一直線上に配列されたセンシング電極12は、各相の可動子電極111の給電ライン113に対する接続関係と同じ接続関係になるように出力ライン115に接続される。

【0018】固定子2は、可動子1と同様の構成を有し、図5に示すように、多層配線板30の導電体層34に直線格状の多数の固定子電極21を互いに平行になるように一定間隔p2で配列した導電パターンと、直線格状の多数のセンシング電極22を互いに平行になるように固定子電極21と同じ間隔p2で配列した導電パターンとを有している。固定子電極21は3相であり、各相をE～Gとすれば、EFGF……という順に循環的に配列される。また、各相の固定子電極21は、各相ごとにまとめて給電ライン23に接続される。ここに、3相のうちの2相の給電ライン23は固定子電極21と同じ導電体層34に形成され、残りの1相の給電ライン23は他の導電体層35に形成される。導電体層35に形成された給電ライン23と、固定子電極21との接続は、可動子1の場合と同様であって、固定子電極21の長手方向の端部に設けたランド24の中心にそれぞれ穿孔したスルーホールを用いて、めっきスルーホール法などの周知の方法を適用する。このようにして、導電体層35には同相の給電ライン23が2本形成されることになり、各センシング電極22は、各固定子電極21と同一直線上に形成され、各相の固定子電極21と同一直線上に配列されたセンシング電極22は、各相の固定子電極21の給電ライン23に対する接続関係と同じ接続関係になるように出力ライン25に接続される。

【0019】要するに、可動子1と固定子2とは相数が異なるのみであって、同一の構成を有しているのである。可動子電極11と固定子電極21とは、(可動子電極の相数×可動子電極の間隔)＝(固定子電極の相数×固定子電極の間隔)という関係が成立するように配列さ

(4)

れている。すなわち、 $4 \times p1 = 3 \times p2$ 、 $u = v$ になっている。また、固定子電極21の幅は、可動子電極11の幅よりも大きく設定されており、上記寸法uの間で、いずれか一つの可動子電極11と固定子電極21との中心同士が対向している状態で、他のいずれかの固定子電極21に可動子電極11の半分程度の面が対向できるように設定されている。

【0020】可動子1の各給電ライン13および固定子2の各給電ライン23には、図1に示すように、リレー接点等からなるスイッチ要素4を介して直流電源5が接続される。直流電源5は、+V、0、-Vの3種類の電圧を出力し、スイッチ要素4は、可動子1および固定子2の各相A～Gの各給電ライン13、23に対して直流電源5の3種類の出力電圧を駆動電圧として選択的に印加する。また、スイッチ要素4の切り換えは、切換制御部6によって制御される。したがって、各給電ライン13、22には、+V、0、-Vのいずれかの電圧が選択的に印加される。換言すれば、各可動子電極11および固定子電極21には、複数の駆動電圧が印加される。各固定子電極21には、複数の駆動電圧が印加される。また、スイッチ要素4、直流電源5、切換制御部6によって駆動電圧制御手段が構成されるのである。駆動電圧は、可動子電極11および固定子電極21の各相ごとに制御される。

【0021】各相の駆動電圧の印加パターンにはいろいろな形式が考えられるが、たとえば図6に示すような駆動電圧を与えれば、可動子電極11および固定子電極21の極性を図7のように変化させて、可動子1を固定子2に対して移動させることができる。ここで、ABCDは可動子電極11の各相を示し、EFGは固定子電極21の各相を示す。この駆動電圧の印加パターンでは、可動子電極11および固定子電極21のうち中心同士が対向しているものに+Vを印加し、+Vを印加した可動子電極11および固定子電極21に対して図7における左隣の可動子電極11および固定子電極21に-Vを印加する(図7(a)参照)。このように駆動電圧を印加すれば、-Vを印加された可動子電極11と固定子電極21とは中心がずれているために、反発力によって中心の距離を広げる向きに可動子1を移動させる。また、可動子1がu/12だけ移動すると、最初に+Vを印加された可動子電極11および固定子電極21の右隣の可動子電極11および固定子電極21の中心同士が対向することとなるから(図7(b)参照)、この時点で駆動電圧を切り換えるようにすれば(図7(c)参照)、図7

(a)と同じ形に戻り、以後同様にして可動子1を移動させることができるのである。要するに、各相の駆動電圧の相をI(A、B、C、D)、(E、F、G)とすれば、可動子1が $u/12$ 進むごとに、 $I(-V, +V, 0, 0), (-V, +V, 0) \rightarrow I(0, -V, +V, 0), (0, -V, +V) \rightarrow I(0, -V, +V, 0)$ 分だけ駆動電圧を偏位させるのである。可動子1を逆向

きに移動させる場合には、 $(I, 0, +V, -V, 0)$ 、 $(0, +V, -V) \rightarrow (+V, -V, 0, 0)$ 、 $(+V, -V, 0, 1)$ というように、初期の向きを逆にするようには断性を設定するとともに駆動電圧を順位させる向きを逆にすればよい。

【0022】上述した駆動電圧の印加パターンによれば、可動子1の移動が開始されるときには、クーロン力の合力について可動子1と固定子2との対向面に直交する方向の成分が反発力になるから、可動子1が固定子2から引き上がることにになり、可動子1と固定子2との間の摩擦力を軽減された状態で可動子1が移動することに、その結果、摩擦力による駆動力の損失が少なくなり、印加電圧の大きさに対して駆動力を大きくすることができるのである。

【0023】ところで、上述した構成では、駆動電圧を切り換えるタイミングと可動子電極11および固定子電極21の位置関係とにずれが生じるため、脱調や乱調が生じることがある。そこで、センシング電極12、22をセンサ部とともに、可動子1の固定子2に対する相対位置を検出する位置判定部7を備えた位置検出手段を設け、位置判定部7を切り換えるように切替制御部6をフィードバック制御するのである。

【0024】位置判定部7では、図8に示すように、可動子1のセンシング電極12に位置検出手用電圧を印加する電圧印加回路7aと、可動子1のセンシング電極12に位置検出手用電圧が印加されることにより固定子2のセンシング電極22に静電誘導によって生じる電荷量の変化を検出して可動子1の固定子2に対する相対位置を判定する判定回路7bとを備える。本実施例では、電圧印加回路7aは、センシング電極12に直流電圧を印加する。すなわち、可動子1の移動方向に配列された各センシング電極12には、図9に示すように、電圧印加回路7aに設けた直流電極E1、E2によって交互に逆極性の直流電圧が印加される。要するに、4相A～Dの可動子電極11に対応する各センシング電極12のうち、A相およびC相の可動子電極11に対応するセンシング電極12と、B相およびD相の可動子電極11に対応するセンシング電極12とが互いに異なる極性になるように、直流電圧が印加されるのである。一方、固定子電極21に、直流電圧が印加される。このとき、センシング電極22については、それぞれ電荷量の変化は検出され

ず、図9に示すように、電圧印加回路7aから直流電圧を出力していたものであるから、可動子1が移動していないければ、センシング電極e～gに出力が得られないものであった。すなわち、可動子1が移動していないければ、センシング電極e～gに電荷が放電されて位置検出手がでなくなるものであった。そこで、本実施例では、可動子1が移動していないときににも出力が得られるように、電圧印加回路7aから

圧（誘起電流）の変化を図10に示す。固定子2のセンシング電極22に静電誘導される電荷量は、可動子1のセンシング電極12と固定子2のセンシング電極22との対向面積にほぼ比例するから、固定子2のセンシング電極22での誘起電流は正電流になる。

いま、各相A～Dの可動子電極11に対応するセンシング電極12をそれぞれa～dとし、各相E～Gの固定子電極21に対応するセンシング電極22をそれぞれe～gとして、センシング電極a、cに電圧V1の直流電圧E1の正極を接続し、センシング電極b、dに電圧V1の直流電極E2の負極を接続しているものとする。図9(a)のように、センシング電極aとセンシング電極eとの中心同士が一致する位置では、センシング電極eの出力電圧o1は-V1になる。また、センシング電極f、gの出力電圧o2、o3は、可動子1の固定子2に対する位置に応じた絶対値がV1以下の所定電圧になる。次に、図9(a)の位置から可動子1が寸法u/12だけ移動して図9(b)のように、センシング電極bとセンシング電極fとの中心同士が一致するようになる

と、センシング電極fの出力電圧o2が-V1になり、他のセンシング電極e、gの出力電圧o1、o3は、絶対値がV1以下の所定電圧になる。同様にして、図9(a)の位置から可動子1が寸法u/4だけ移動して図9(c)のように、センシング電極dとセンシング電極eとが一致するようになると、センシング電極eからの出力電圧o1が、V1になるのである。以上のようにして、図10に示すように、3相の出力電圧o1～o3が得られることになる。ここにおいて、図10における①～③は、それぞれ図9(a)～(c)の各位置に対応す

これらの出力電圧o1～o3の間隔に基づいて可動子1の固定子2に対する相対位置を求めることができるのである。

【0026】このようにして可動子1の固定子2に対する相対位置を求めれば、駆動電圧を切り換えるタイミングを正確に設定できるのであって、脱調や乱調を防止し、また、加速や減速の制御を行うことができるのである。ここに、脱調や乱調を防止するには、駆動電圧を切り換えるタイミングを可動子電極11と固定子電極21との位置関係の周期性に同期させるような制御を行えばよく、加速や減速を行うには、可動子電極11と固定子電極21との位置関係の周期内に於ける駆動電圧の切替タイミングを調節すればよい。

【0027】(実施例2)上記実施例では、電圧印加回路7aから直流電圧を出力していたものであるから、可動子1が移動していないければ、センシング電極e～gに出力が得られないものであった。すなわち、可動子1が移動していないければ、センシング電極e～gに電荷が放電されて位置検出手がでなくなるものであった。そこで、本実施例では、可動子1が移動していないときににも出力が得られるように、電圧印加回路7aから

高周波交流電圧を出力している。

【0028】図11に示すように、可動子1の各相A～Dに対応する各センシング電極a～dには、それぞれ数kHz～数MHzの高周波交流電圧を印加するのであって、各センシング電極a～dに対応する高周波交流電圧ACa～ACdは、それぞれ $\sin \omega t$ 、 $\sin(\omega t - 90^\circ)$ 、 $\sin(\omega t - 180^\circ)$ 、 $\sin(\omega t - 270^\circ)$ となるように、90°ずつ異なる位相に設定されている。

したがって、距離uの間で位相を360°回転させることができ、センシング電極aとセンシング電極eとが重なる図11(a)の位置では、センシング電極eより得られる出力電圧は、高周波交流電圧ACaに対応する。この位置から可動子1が寸法u/4だけ移動すると、センシング電極eより得られる出力電圧はピークになり、位相が90°ずつ回転することになる。すなわち、各センシング電極e～gの出力電圧は、図12のようになる。この出力電圧を、高周波交流電圧ACaの出力を基準信号として判定回路7bを構成する同期検出回路7cにおいて同期検出を行うことにより、各センシング電極e～gの出力電圧と高周波交流電圧ACaの出力電圧との位相差に比例する振幅を有した図13のよう

な信号を得る。同期検出回路7cの出力信号は、ローパスフィルタ7dを透過することによって高周波成分が除去され、振幅の変化に対応した図14のような出力電圧o1～o3が得られることになる。出力電圧o1～o3は、それぞれ1周期の距離uに対応する信号になるのであって、3相の出力電圧o1～o3の位相関係に基づいて可動子1の固定子2に対する相対位置を高分解能で検出することができるのである。ここに、図12における①～③は、図11(a)～(c)の位置に対応する。他の構成および動作は実施例1と同様であるから説明を省略する。

【0029】(応用例)ところで、上記実施例では、可動子1と固定子2とが絶縁体層32の間に介在させる形で配置されていたが、絶縁体層32の間の空気層は他の部分に比較して絶縁率が1桁程度低いものであるから、可動子1の駆動力を大きくするために、駆動電圧を高くすると、空気層での放電が生じるという問題があった。すなわち、駆動電圧の大きさが制限されていた。空気層を5μm以下にすれば、この問題は改善されるのであるが、絶縁体層32の表面の平滑度を相当程度高めることが要求され、現在の技術レベルでは製造が困難である。

【0030】そこで、図15に示すように、絶縁性液体よりなる絶縁体層38を絶縁体層32の間に介在させている。すなわち、図16に示すように、絶縁性液体を満した容積40の内部に可動子1および固定子2を配置するのである。絶縁性液体としては、可動子1と固定子2との張り付きを防止するために、粘度および表面張力の小さいものが選択される。また、絶縁性液体として

は、体積抵抗率が $10^{12} \Omega \cdot \text{m}$ 以上であることが要求されるから、たとえば、フッ素系の絶縁性液体（商品名フッロナート、住友3M社製など）を用いたり、シリコン油等の絶縁油を用いたり、とくに、フッ素系の絶縁性液体は不純物を溶解しないから、絶縁性の低下がなく、要求性能を満たすことができるものである。このように絶縁性液体による絶縁体層38が絶縁体層32の間に介在されることによって、絶縁率が向上し、しかも、可動子1と固定子2との間の摩擦力が低減されることになり、その結果、駆動電圧を高めて駆動力を高めることができる。可動子1と固定子2との間の摩擦力が高まるのと同時に、可動子1の固定子2の間の摩擦力による力の損失が少なくなり、結果的に可動子1の駆動力を高めることができるのである。

【0031】ここにおいて、可動子1の端部を容積40から引き出すためには、絶縁性液体が容積40が満たないようにする必要がある。そこで、容積40において可動子1を引き出すために設けた開口部41にシール42を施すか、あるいは、開口部41にベローを設けることが必要である。シール42としては、たとえば、図17に示すように、永久磁石43と磁性液体44とを用いたものが考えられる。このシール42では、永久磁石43によって保持された磁性液体44によって開口部41を覆うことにより、絶縁性液体が容積40から漏れるのを防止することができるのである。

【0032】駆動力を増大させる構成としては、図18に示す構成を採用してもよい。すなわち、可動子電極11における固定子2との対向面および固定子電極21における可動子1との対向面に、それぞれ他の部分よりも誘電率の高い絶縁材料によって形成した誘電率部45を設けるのである。ここにおいて、高誘電率部45の設け方には、次の3種類がある。すなわち、可動子電極11や固定子電極21を保持している絶縁基板31の誘電率を ϵ_1 、高誘電率部45の誘電率を ϵ_2 、可動子1の移動方向における高誘電率部45の部分46の誘電率を ϵ_3 とすると、① $\epsilon_1 < \epsilon_2 < \epsilon_3$ 、② $\epsilon_1 = \epsilon_2 < \epsilon_3$ 、③ $\epsilon_1 < \epsilon_2 < \epsilon_3$ のいずれかの構成とするのである。一例をあげれば、①の構成の場合は、絶縁体層36および高誘電率部45をエポキシ樹脂によって形成し、部分46をテフロン（商品名）のスクリーン印刷によって形成すればよい。また、②の構成の場合には、絶縁体層36および部分46をエポキシ樹脂によって形成し、高誘電率部45をポリビニルピリデン樹脂(PVDF)のスクリーン印刷によって形成すればよい。また、③の構成の場合には、絶縁体層36をエポキシ樹脂によって形成し、高誘電率部45をPVDF、部分46をテフロンのスクリーン印刷によってそれぞれ形成すればよい。

【0033】上述のような高誘電率部45を設けることによって、可動子電極11および固定子電極21に対応する部位で電気力線を集中させることができ、断面的に

可動子電極11と固定子電極21との距離を小さくしたことになる。すなわち、絶縁体層32の厚みを比較的大きくすることによって、絶縁面圧を高くしながらも可動子1と固定子2との間に作用するクーロン力を高めることができる。結果的に駆動力を上昇させることができるのである。

【0034】駆動力を増大させるためには、図19および図20に示すように、可動子1および固定子2の対を複数個設けることもできる。すなわち、可動子1と固定子2との対の複数の対を可動子1の移動方向が同一方向になるように重複し、可動子1の移動方向における可動子1の一端部を可動子ホルダ10によって一体に結合し、可動子1の移動方向における固定子2の他端部を固定子ホルダ20によって結合するのである。これにおいて、各可動子1の対応する可動子電極11同士および各固定子2の対応する固定子電極21同士は、可動子1の移動方向における位置が揃えられている。また、可動子1と固定子2との対を複数個重複しているため、対にならずに可動子1と固定子2との間だけではなく、本来は対になっていない可動子1と固定子2の間でもクーロン力が作用することになり、一對の可動子1と固定子2に比べて駆動力を、対の個数倍したよりも大きな駆動力が得られることになる。とくに、可動子電極11を可動子1の原方向の中央付近に設け、固定子電極21を固定子2の原方向の中央付近に設けるようにすれば、この効果が高くなるものである。

【0035】このように可動子1および固定子2を複数対設けた静電アクチュエータでは、他の構成に比較して駆動力を大幅に増強できるから、直進運動を行う人工筋肉などに応用することが可能である。

【0036】

【発明の効果】請求項1の構成によれば、上述のように、固定子と可動子とにそれぞれ多数の固定子電極と可動子電極とを配列し、固定子電極と可動子電極とに印加する駆動電圧を制御して可動子電極を移動させるのである。固定子電極および可動子電極がそれぞれ所定の間隔で配列されているので、固定子電極と可動子電極との位置関係によって固定子に対する可動子の基準位置を正確に設定できるという効果を奏する。また、固定子に対する可動子の変位量を検出し位置量に応じた駆動電圧が固定子電極と可動子電極とに印加されるように駆動電圧制御手段をフィードバック制御する位置検出手段を備えているので、可動子の固定子に対する位置に応じた駆動電圧を制御することができ、乱振や脱調が生じないように可動子を移動させることができるという利点がある。

【0037】請求項2および請求項3の構成によれば、固定子と可動子とにそれぞれ上記一方向に所定間隔で配列された多数のセンシング電極を互いに対向させたセンサ部を位置検出手段に設けているので、位置検出手段のセンサ部を、固定子や可動子に一体に設けることができ

るのであって、可動子の固定子に対する変位量を正確に検出することが可能になるという利点を有する。

【0038】請求項4の構成によれば、固定子と可動子との間に絶縁性液体よりなる第3絶縁体層を介在させているので、固定子電極と可動子電極との間の絶縁面圧を高めることができ、高い駆動電圧を印加することができ、高い結果、可動子の駆動力を高めることができる。また、第3絶縁体層を形成する絶縁性液体として粘度および表面張力の小さい材料を採用することによって、固定子と可動子との間の摩擦力を低減することができ、駆動力を高めることができる。

【0039】請求項5の構成によれば、固定子に第1絶縁体層を設け、第1絶縁体層に對向する第2絶縁体層を可動子に設け、第1絶縁体層における固定子電極との對向部位および第2絶縁体層における可動子電極との對向部位に、それぞれ他の部位よりも誘電率の高い絶縁材料よりなる高誘電率部を形成しているため、固定子電極と可動子との對向部位付近および可動子電極と固定子との對向部位付近に電気力線を集中させることができ、絶縁面圧を維持したまま駆動力を高めることができるのである。

【0040】請求項6の構成によれば、複数の可動子を可動子ホルダによって一体に結合しているため、固定子と可動子との複数列の對の駆動力の合力を出力として得ることができ、高い駆動力が得られるのである。

【図面の簡単な説明】

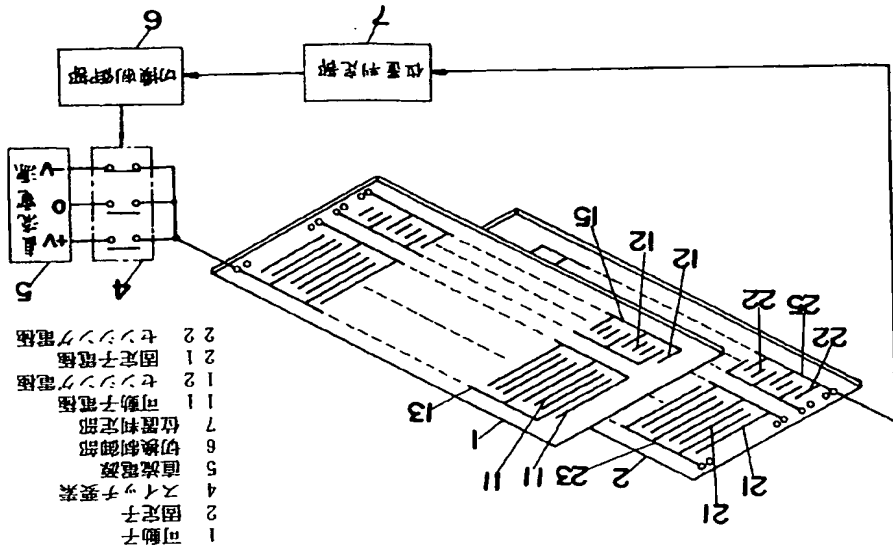
【図1】実施例を示す概略構成図である。
【図2】実施例の要部断面図である。
【図3】実施例に用いる可動子の要部断面図である。
【図4】実施例に用いる固定子を示す平面図である。
【図5】実施例に用いる固定子を示す平面図である。
【図6】実施例の駆動電圧の印加パターンの例を示す動作説明図である。
【図7】実施例の動作説明図である。
【図8】実施例のブロック図である。
【図9】実施例1の位置検出手段の動作説明図である。
【図10】実施例1の位置検出手段より得られる信号の例を示す動作説明図である。
【図11】実施例2の位置検出手段の動作説明図である。
【図12】実施例2の位置検出手段より得られる信号の例を示す動作説明図である。
【図13】実施例2の位置検出手段より得られる信号の例を示す動作説明図である。
【図14】実施例2の位置検出手段より得られる信号の例を示す動作説明図である。
【図15】実施例2の位置検出手段より得られる信号の例を示す動作説明図である。
【図16】実施例2の位置検出手段より得られる信号の例を示す動作説明図である。
【図17】実施例2の位置検出手段より得られる信号の例を示す動作説明図である。
【図18】他の実施例の断面図である。

【図19】さらに他の実施例の斜視図である。
【図20】図19に対応する応用例の側面図である。
【図21】従来例の動作説明図である。

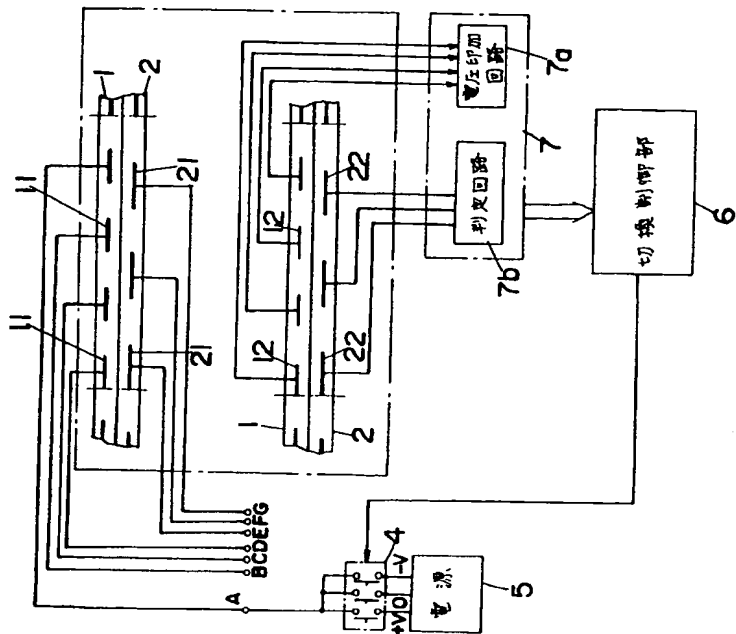
【符号の説明】

1 可動子
2 固定子
4 スイッチ要素
5 直流電源
6 切換制御部
7 位置判定部
10 可動子ホルダ
11 可動子電極
12 センシング電極
21 固定子電極
22 センシング電極
31 絶縁基板
32 絶縁体層
33 絶縁体層
34 誘電体層
35 誘電体層
38 絶縁体層
45 高誘電体部

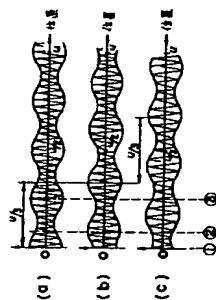
【図1】



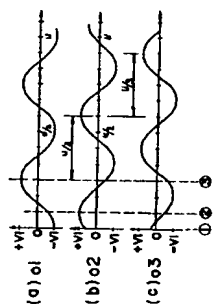
【圖 8】



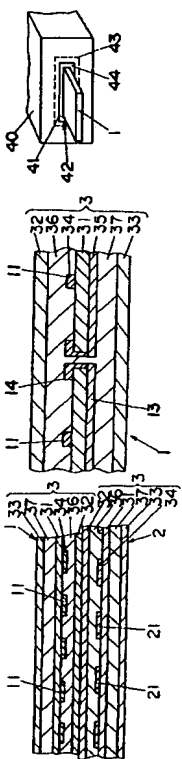
【圖 12】



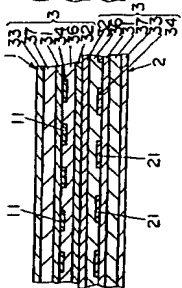
【圖 10】



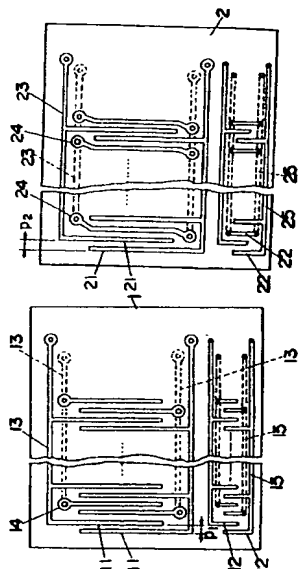
【圖 3】



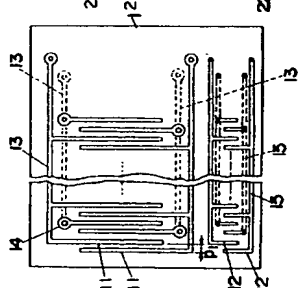
【圖 2】



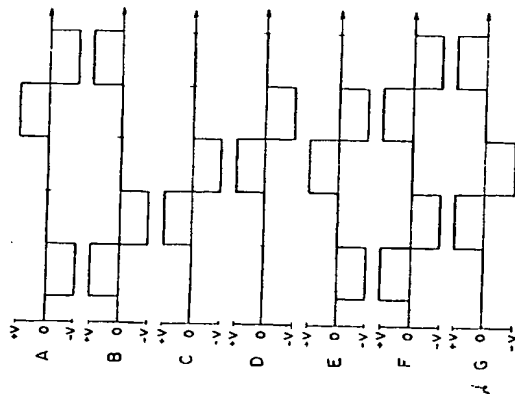
【圖 5】



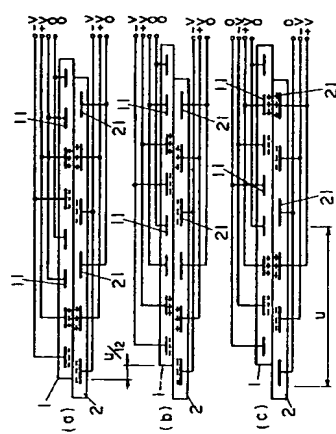
【圖 4】



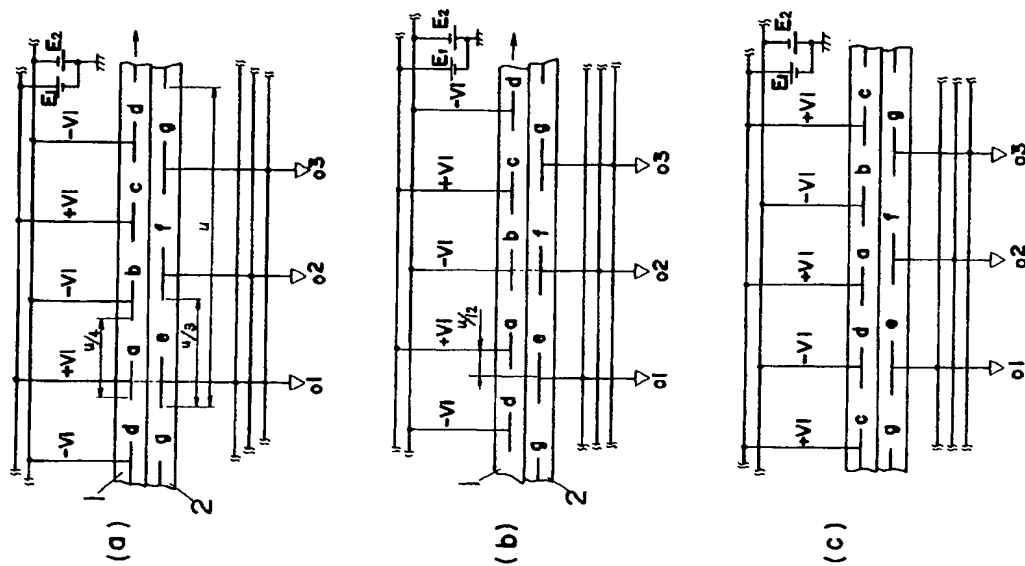
【圖 6】



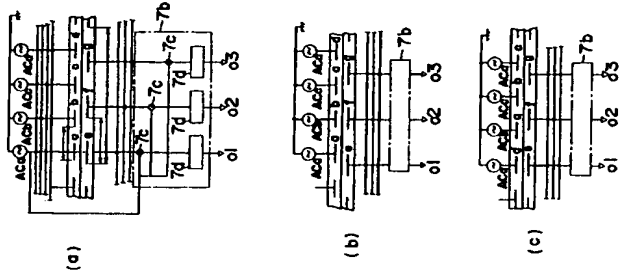
【圖 7】



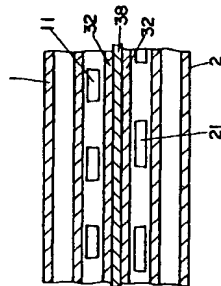
【6】



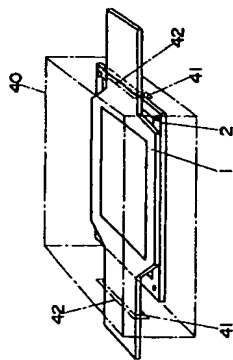
【111】



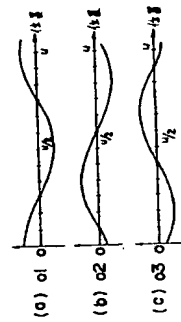
【图 15】



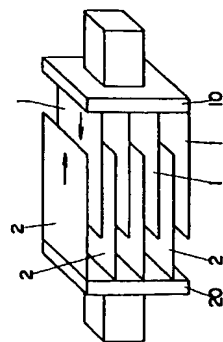
【図16】



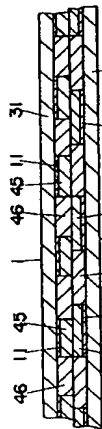
【圖 14】



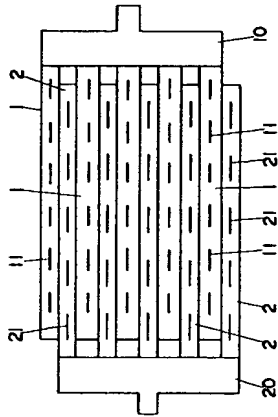
【圖19】



【图 18】



[図20]



[図21]

